



Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

## ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE COBERTURAS E SUBCOBERTURAS COM MATERIAIS ALTERNATIVOS NO CONTEXTO CLIMÁTICO DO SEMIÁRIDO ALAGOANO<sup>1</sup>

CADETE, Eduardo Siqueira (1); BARBOSA, Ricardo Victor Rodrigues (2); TORRES, Simone Carnaúba (3)

(1) Universidade Federal de Alagoas, eduardoscadete@gmail.com

(2) Universidade Federal de Alagoas, rvictor@fau.ufal.br

(3) Universidade Federal de Alagoas, simone.torres81@gmail.com

### RESUMO

A utilização de coberturas e subcoberturas confeccionadas com materiais alternativos podem contribuir no desempenho térmico de novas tecnologias sustentáveis da construção civil. A pesquisa tem por objetivo analisar comparativamente o desempenho térmico de dois tipos de cobertura (telha cerâmica capa canal e telhão de argamassa com fibras de sisal) e subcobertura (PVC e bambu *Guadua paniculata*), na cidade de Arapiraca-AL. Trata-se de uma pesquisa experimental na qual foram monitoradas as variáveis de temperatura do ar em células-teste construídas em alvenaria e com os dois sistemas de coberturas, sendo duas com aplicação de forro e uma sem. O monitoramento foi realizado em duas etapas do verão: fevereiro e dezembro de 2019. O registro da temperatura do ar foi realizado com dataloggers, com dados horários e contínuos nos três dias de monitoramento. A diferença de temperatura entre as coberturas chegou a 1,3°C às 12:00h no dia 07/12/19. Os forros possuíram desempenho semelhantes, principalmente no dia 26/02/19 às 12:00h com diferença de quase 1°C. Constatou-se que o bambu possui potencialidade de uso como forro em habitações no semiárido. Já o telhão se mostrou favorável apenas com a utilização das subcoberturas.

**Palavras-chave:** Desempenho térmico. Bambu (*Guadua paniculata*). Telhão. Células-teste. Semiárido.

### ABSTRACT

The use of roofs and sub-roofs made with alternative materials can contribute to the thermal performance of new sustainable construction technologies. The research aims to comparatively analyze the thermal performance of two types of roofing (ceramic tile channel cover and mortar roofing with sisal fibers) and subcovering (PVC and *Guadua paniculata* bamboo), in the city of Arapiraca-AL. It is an experimental research in which the air temperature variables were monitored in test cells built in masonry and with the two roofing systems, two with ceiling and one without. Monitoring was carried out in two stages of the summer: February and December 2019. The air temperature was recorded using dataloggers, with hourly and continuous data over the three days of monitoring. The temperature difference between the covers reached 1.3 °C at 12:00h on 12/07/19. The liners had similar performance, mainly on 02/26/19 at 12:00, with a difference of almost 1 °C. It was found that bamboo has the potential to be used as a ceiling in homes in the semiarid region. The roof was shown to be favorable only with the use of subcoverings.

**Keywords:** Thermal performance. Bamboo (*Guadua paniculata*). Telhão. Test cells. Semiarid.

<sup>1</sup> CADETE, E.S.; BARBOSA, R.V.R.; TORRES, S.C.. Análise do desempenho térmico de coberturas e subcoberturas com materiais alternativos no contexto climático do semiárido alagoano. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

## 1 INTRODUÇÃO

Nas residências horizontais a maior parte exposta à radiação solar é o telhado, ele absorve grande parte desta energia e a transfere para o interior das edificações, aumentando os ganhos térmicos, elevando a temperatura interna (MICHELS, 2007). Assim como as coberturas, a subcobertura possui importância significativa em relação ao desempenho térmico da edificação, pois o forro constitui uma barreira de obstrução ao fluxo térmico originado pela radiação emitida pelas telhas da cobertura da edificação (FRANSOZO, 2003).

A fim de melhor viabilizar o custo de construção, muitas habitações são usualmente projetadas e executadas sem forro. Nos casos em que há aplicação de forros nas habitações, estes são de Policloreto de Vinila (PVC) rígido, na cor branca, devido ao baixo custo do material frente aos modelos industrializados disponíveis no mercado do agreste alagoano.

Guimarães *et. al.* (2006), criaram um projeto, Desenvolvimento de componentes de edificações em fibra de sisal (PROSISAL), que desenvolve pesquisas com compósitos sisal-cimento no Centro de Pesquisas e Desenvolvimento (CEPED). O projeto propõe pesquisas tecnológicas com produtos inovadores ao utilizar em sua composição a argamassa com fibras de sisal para fabricação de componentes para edificações, como telhas e calhas para habitações populares, principalmente do Nordeste. Em seus resultados existe viabilidade de produção de telhas capa-canal (60cm) com a fibra de sisal em sua composição e de outros produtos sem função estrutural, a exemplo dos cochos para alimentação animal.

Neste trabalho foi utilizado o bambu *Guadua paniculata* como subcobertura, por ser um elemento disponível na região e o telhão de argamassa com fibras de sisal em sua composição, tendo o sisal como principal material que promoverá uma certa resistência na cobertura.

O estudo foi realizado no município de Arapiraca, localizado na mesorregião do Agreste Alagoano, na parte central do Estado de Alagoas. Com base no estudo das características e das variáveis climatológicas locais, Silva (2019) destaca que a cidade de Arapiraca possui um clima composto basicamente de duas estações, que podem ser descritas como: período quente e úmido (junho a setembro), caracterizado por temperatura do ar menos elevada, a umidade relativa do ar alta e a amplitude térmica apresenta pequena variação entre o período noturno e diurno; e período quente e seco (dezembro a março), quando as temperaturas atingem níveis relativamente altos, como 36°C e 37,2°C, como encontrados na presente pesquisa, a umidade do ar é menor e a amplitude térmica entre o período noturno e diurno é significativamente alta, por exemplo, acima de 10°C.

## 2 OBJETIVO

O objetivo da pesquisa foi analisar comparativamente o desempenho térmico de dois tipos de cobertura (telha cerâmica capa canal e telhão de argamassa com fibras de sisal) e com subcobertura (PVC e bambu *Guadua paniculata*) no sistema de cobertas no semiárido alagoano, durante a estação quente e seca.

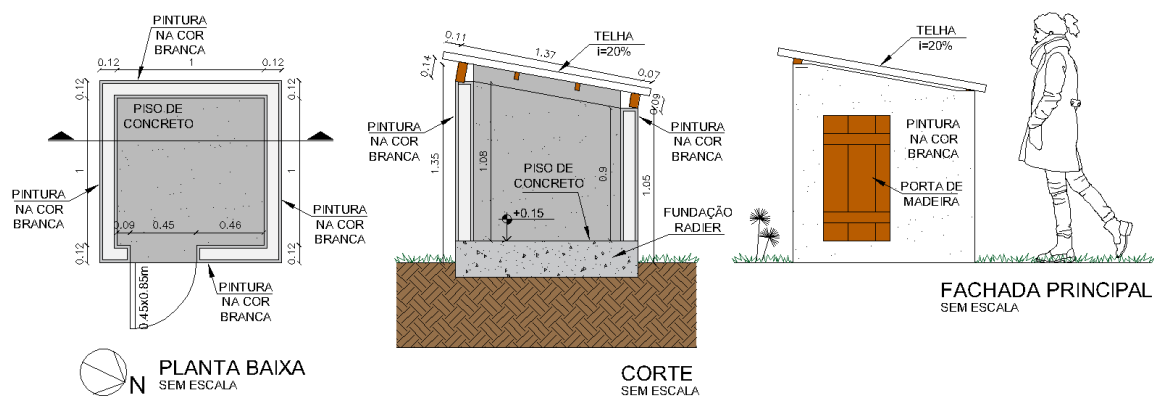
## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos estão fundamentados nos estudos de Guimarães *et. al.* (2006), CEPED (1985), Durante *et al.*, (2019) e Santos *et al.* (2016), quando analisavam o comportamento de coberturas e subcoberturas com materiais alternativos.

### 3.1 Localização e descrição das células teste

O canteiro experimental possui oito células-teste e está localizado no *Campus Arapiraca* da Universidade Federal de Alagoas. Para a pesquisa foram utilizadas apenas quatro células-testes. As mesmas foram constituídas em alvenaria de tijolo cerâmico de 6 furos e revestidas em ambos os lados com argamassa de areia e cimento e pintadas a cal na parte externa, sobre uma fundação radier e piso de concreto. Possui dimensões externas de 1,30m x 1,30m x 1,35m, com volume interno aproximado de 1m<sup>3</sup> e cobertura com inclinação de 20% orientada para fachada Norte. As portas são feitas de madeira medindo 0,45m por 0,85m, sendo a única abertura existente para acesso ao interior da célula-teste (Figura 1). As células-teste permaneceram fechadas durante todo o período de monitoramento.

Figura 1 – Projeto das células-teste



Fonte: Silva, Vieira e Barbosa (2019). Adaptado pelo autor (2020).

Quanto à disposição no canteiro experimental, elas estão intercaladas, afastadas uma da outra no mínimo 3,2m e no máximo 4,0m, a fim de que não influenciem no comportamento da célula mais próxima, considerando a trajetória solar e a predominância de ventos na região, que se alternam entre Leste (outubro a abril) e Sudeste (maio a setembro), segundo Silva (2019).

### 3.2 Sistemas de cobertura e subcobertura e suas especificações térmicas

Para o sistema de coberturas utilizou-se a telha cerâmica capa canal (sistema convencional) e telhões de argamassa produzidas *in loco* (sistema alternativo). A pesquisa se desenvolveu em duas etapas devido a limitação no número de células teste disponíveis no *campus*. Dessa forma, na primeira etapa (fevereiro) foi coletado os dados com a telha cerâmica e na segunda etapa (dezembro) com os telhões. Os estudos sobre a pesquisa experimental foram realizados com base na norma de desempenho térmico, conforme a NBR 15575 (2013). Foram monitorados apenas a temperatura do ar e umidade relativa do ar, devido ao número reduzido de equipamentos para coleta de dados.

### 3.3 Etapa 1: período de 26 a 28 de fevereiro de 2019

Monitoramento da temperatura do ar e umidade relativa do ar em três células-teste cobertas com telhas cerâmicas colonial tipo capa canal, variando apenas a subcobertura (Figura 2), instaladas sobre uma estrutura de madeira composta apenas por caibros (3,0 x 5,0 cm) devido à reduzida dimensão do modelo, com beiral

de 9 cm em todos os lados. Assim, as composições dos sistemas de cobertura desta etapa foi a seguinte:

(A) 1 célula-teste com telha cerâmica sem forro (cobertura convencional sem subcobertura); (B) 1 célula-teste com telha cerâmica + forro de PVC (cobertura e subcobertura convencionais) e (C) 1 célula-teste com telha cerâmica + forro de bambu, elemento natural biodegradável de fácil acesso. (cobertura convencional com subcobertura alternativa).

Figura 2 – As três células-teste na etapa 1



Fonte: O autor (2020).

### 3.4 Etapa 2: período de 06 a 08 de dezembro de 2019

Na segunda etapa, as telhas cerâmicas foram substituídas por telhões de argamassa com fibras de sisal produzidos *in loco* (Figura 3). Assim, foram utilizadas quatro células teste nessa segunda etapa e as composições dos sistemas de cobertura desta segunda etapa foi a seguinte:

(A) 1 célula-teste com telhão sem forro (cobertura alternativa sem subcobertura); (B) 1 célula-teste com telhão de argamassa + forro de PVC rígido frisado na cor branca (cobertura alternativa + subcobertura convencional); (C) 1 célula-teste com telhão de argamassa + forro de bambu (cobertura e subcobertura alternativos) e (D) 1 célula-teste com telha cerâmica sem forro, Figura 2A. (cobertura convencional sem subcobertura servindo de testemunho na segunda etapa).

Figura 3 – As três células-teste na etapa 2



Fonte: O autor (2020).

### 3.5 Equipamentos utilizados para coleta de dados

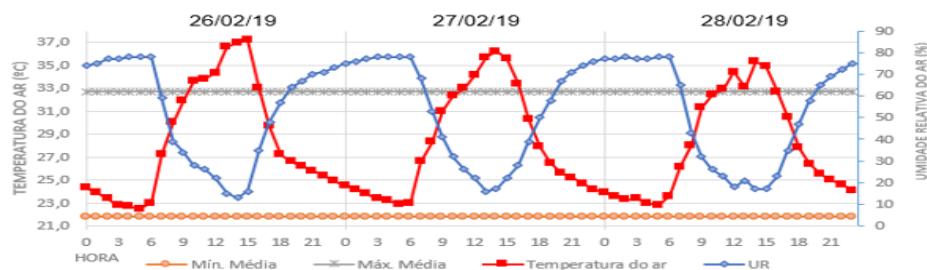
O monitoramento da temperatura do ar no interior das células-teste foi feito com dataloggers da marca Hobo®, modelo UX100-003, com acurácia de  $\pm 0,21^{\circ}\text{C}$  de  $0^{\circ}$  a  $50^{\circ}\text{C}$  e resolução de  $0,024^{\circ}\text{C}$  à  $25^{\circ}\text{C}$ . Os equipamentos foram programados para registrar dados contínuos em intervalos de 60 min e instalados no centro geométrico do espaço interno das células-teste, localizados a 50 cm do piso e fixados por suportes de madeira. Os dados externos foram coletados segundo os dados da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Etapa 1: desempenho dos sistemas com telha cerâmica

Na primeira etapa da pesquisa foi analisado o comportamento das variáveis temperatura do ar e umidade relativa do ar no interior das células-teste durante o período de verão, caracterizado por Silva (2019) como quente e seco (período de 26 a 28 de fevereiro de 2019). A temperatura máxima externa absoluta chegou a 37,2°C, no dia 26/02/2019, às 15:00h, e a umidade relativa do ar atingiu a mínima de 13% neste mesmo dia, às 14:00h, conforme a Figura 4. Os horários de maior aquecimento alcançaram valores de temperatura do ar superiores à média da temperatura máxima (32,7°C) para o mês de fevereiro e a umidade relativa mínima registrada foi bastante inferior à média da umidade relativa do ar (39%) para o mesmo mês, de acordo com Silva (2019).

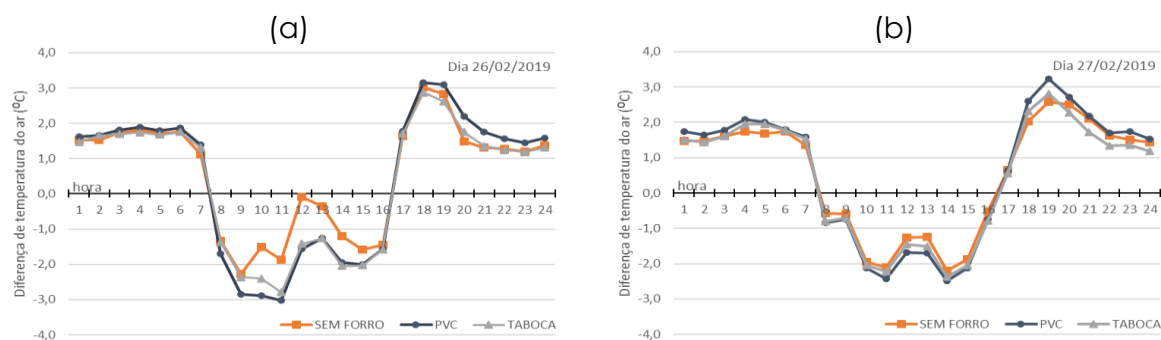
Figura 4 – Valores mínimos e máximos diários registrados pela estação automática do INMET no município de Arapiraca-AL, nos dias 26 a 28/02/2019

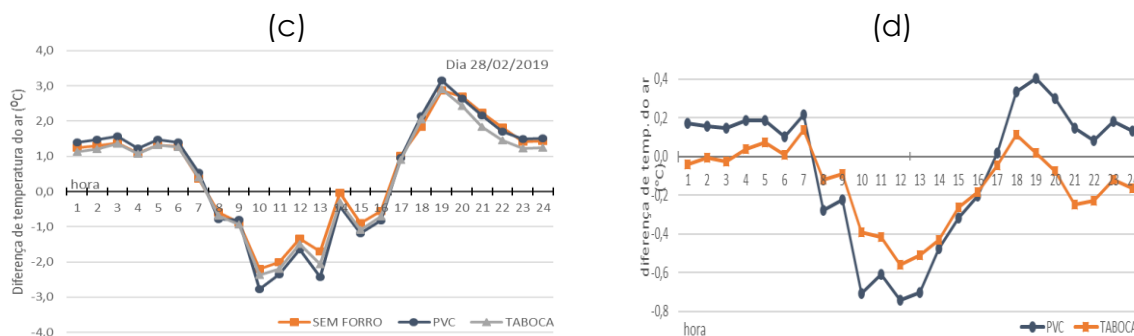


Fonte: INMET (2019). Adaptado pelo autor (2019).

As Figuras 5a a 5c mostra o comportamento da diferença de temperatura do ar (°C) registradas nas três células-teste nos dias 26 a 28 de fevereiro de 2019, ao passo que a Figura 5d mostra a diferença térmica da média horária dos valores de temperatura do ar registradas no interior das células-teste com aplicação de forro de PVC e bambu em relação à célula-teste sem forro.

Figura 5 - Comportamento da diferença de temperatura do ar (°C) registradas nas três células-teste nos dias 26 a 28 de fevereiro de 2019 e (d) diferença média horária de temperatura do ar (°C)





Fonte: Os autores (2019)

Pode-se observar nas Figuras 5a a 5c que o comportamento da temperatura do ar no interior das três células-teste se apresentou equivalente nos três dias analisados, permitindo avaliar o desempenho térmico a partir da média horária dos valores de temperatura do ar. Tomou-se a célula-teste sem forro como referência para análise.

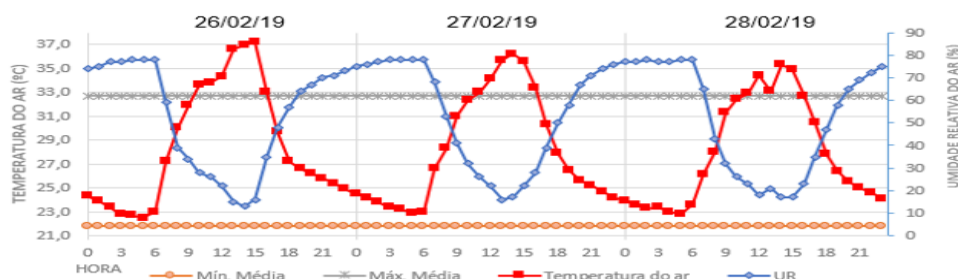
Na Figura 5d é possível observar uma pequena diferença positiva na temperatura do ar no período noturno, possivelmente favorecido pelo bolsão de ar aquecido entre o forro de PVC e a cobertura. O mesmo não ocorreu com a aplicação do forro de bambu devido o alinhamento irregular das tiras de bambu que proporciona frestas no forro, permitindo a troca de ar entre o volume abaixo do forro e entre forro e cobertura, contribuindo para que a aplicação do forro de bambu não se constituísse em barreira para perda de calor no interior do espaço durante o período noturno.

No período diurno, quando há incidência de radiação solar sobre a cobertura de telha cerâmica, a aplicação dos forros proporcionou menor aquecimento do ar interno, com redução de até 0,7°C, com forro de PVC, e 0,6°C, com forro de bambu, nos horários próximos ao meio-dia. Entretanto, o desempenho de ambos os forros no período diurno foi considerado igual, uma vez que a diferença de temperatura do ar entre ambos está bastante próxima da precisão do equipamento usado na pesquisa ( $\pm 0,21^\circ\text{C}$ ).

#### 4.2 Etapa 2: desempenho dos sistemas com telhão de argamassa com sisal

Foram selecionados os dias 06, 07 e 08 de dezembro como dias significativos para a análise por registrarem maiores valores de temperatura do ar e menores valores de umidade relativa do ar. A temperatura máxima externa chegou a 37,2°C, no dia 07/12/2019, às 15:00h, e a umidade relativa do ar atingiu a mínima de 31% neste mesmo dia, às 14:00h, conforme apresenta a Figura 6. Apresenta ainda o comportamento da temperatura do ar externa durante os três dias em relação a umidade relativa do ar.

Figura 6 – Valores mínimos e máximos diários registrados pela estação meteorológica implantado no canteiro experimental no campus



Fonte: O autor (2020)

A telha cerâmica com transmitância térmica de  $4,5\text{W/m}^2\text{K}$ , chegou a registrar  $36,8^\circ\text{C}$  no mesmo horário apresentando uma diferença de  $0,8^\circ\text{C}$ . Na Figura 7 mostra o comportamento das diferenças de temperatura entre as células-teste nos três dias analisados comparados aos dados de temperatura externas coletadas no canteiro experimental.

Figura 7 – Diferença de temperatura do ar ( $^\circ\text{C}$ ) registradas no interior das células-teste comparadas a temperatura externa nos dias 06 a 08 de dezembro de 2019



Fonte: Os autores (2020)

Diante dos gráficos anteriores, percebe-se que o telhão com a subcobertura de bambu contribui para um resfriamento maior a partir das 18h no interior da célula-teste. As células testes com o telhão com PVC e telha cerâmica a partir desse horário mantêm a temperatura interna mais aquecida que as demais.

Durante a etapa 1 da pesquisa o sistema de cobertura com telha cerâmica capa canal se mostrou eficiente quando utilizado juntamente com os forros de bambu e PVC. Uma vez que a diferença de temperatura do ar interna entre as células-teste de PVC e bambu chegaram a  $0,7^\circ\text{C}$  e  $0,6^\circ\text{C}$ , às 11h, segundo dados de temperatura do ar média dos três dias monitorados.

Da mesma maneira, na etapa 2, o sistema de cobertura sem a inserção do forro obteve um baixo desempenho, devido seu valor de transmitância térmica e alta condutividade do concreto. A utilização do telhão com ambos os forros se mostrou semelhante, chegando a diferenças de temperatura do ar interna entre as células-teste de PVC e bambu com  $1,4^\circ\text{C}$  e  $1,1^\circ\text{C}$ , respectivamente, às 12h, segundo dados de temperatura do ar média dos três dias monitorados.

## 5 CONCLUSÕES

A telha cerâmica possui um alto índice de absorção o que retarda o aquecimento superficial imediato, ainda melhor que o telhão de argamassa, porém, o seu uso com a subcobertura seja o PVC ou bambu, obteve bons resultados. O telhão ainda

apresenta vantagens econômicas e no seu processo da autoconstrução, sem precisar passar por um processo de queima para sua finalização.

Nos dois sistemas de coberturas (cerâmica e telhado) o forro de bambu apresentou comportamento térmico semelhante ao forro de PVC, com a vantagem de ser elemento natural, vegetal, biodegradável, de baixo custo, e não requer mão de obra especializada. A sua utilização em habitações que são executadas sem forro é de grande relevância, já que ele demonstrou semelhanças no desempenho térmico do PVC, com maior eficiência no período da noite, onde promove o resfriamento interno mais rápido no interior da habitação.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR-15575: Edificações habitacionais: Desempenho, Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

CENTRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO. Programa de Tecnologias da Habitação.

**Cartilha para fabricação do telhado em argamassa armada:** Camaçari. Rio de Janeiro, 1985

DURANTE, Luciane Cleonice; *et. al.* Coberturas ecológicas para aplicação em moradias dos assentamentos da reforma agrária: alternativas deecoinovação. **E&S – Engineering and Science**, Cuiabá, MT, v. 1, 8 Ed. 2019. CD-ROOM.

FRANSOZO, H.L. **Avaliação de desempenho térmico de habitações de baixo custo estruturadas em aço.** 2003. 274f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2003. CD-ROOM.

GUIMARÃES, Suely da Silva, *et. al.* Desenvolvimento de componentes de edificações em fibra de sisal-argamassa a serem produzidos de forma 59 autogestionária – PROSISAL. *In:* BONIN, L. C.; AMORIM, S. R. L. (Editores). **Inovação Tecnológica na Construção Habitacional.** Porto Alegre: Coleção Habitare, 2006. v. 6. cap. 3. p. 40-65. Disponível em: [http://www.itcp.uneb.br/wp-content/uploads/ct\\_6\\_cap3.pdf](http://www.itcp.uneb.br/wp-content/uploads/ct_6_cap3.pdf). Acesso em: 05 jun. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Dados meteorológicos. Estações automáticas – Arapiraca/AL. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acessado em: 01 de março de 2019.

MICHELS, Caren. **Análise da transferência de calor em coberturas com barreiras radiantes.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. Disponível em: [http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACAO\\_Caren\\_Michels.pdf](http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACAO_Caren_Michels.pdf). Acesso em: 24 out. 2019.

SANTOS, L. F. D. *et al.* Desempenho térmico de instalações para ovinos providas de forros térmicos confeccionados com materiais alternativos. *In:* Congresso técnico científico da engenharia e da agronomia – CONTECC 2016. **Anais...** Foz do Iguaçu – PR, 2016.

SILVA, M. F. **Estratégias bioclimáticas para seis cidades alagoanas:** contribuições para adequação da arquitetura ao clima local. 2019. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/5791>. Acesso em: 28 out. 2019.

SILVA, W.S.; VIEIRA, C.E.; BARBOSA, R. V. R. Desempenho térmico do teto verde na cidade de Arapiraca – AL. *In:* ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENCAC, 2019, João Pessoa, Paraíba. **Anais [...]**. João Pessoa, PB: IESP, 2019, p. 1532-1540. CD-ROOM.